Québec

Note de recherche forestière n° 121

Recherche en sylviculture et rendement de la forêt boréale québécoise

David POTHIER[1], Steeve PEPIN[1], Daniel MAILLY[1], Stéphane TREMBLAY[1] et Sylvain TURBIS[2]

F.D.C. 566(047.3)(714)
L.C. SD 392

Résumé

Les connaissances sylvicoles actuelles de la forêt boréale découlent principalement d'expériences menées en forêt régulière. Par exemple, il existe peu d'outils sylvicoles adaptés aux peuplements de structure irrégulière, tels que les pessières noires surannées. La recherche sylvicole au ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP)[3] vise à combler ce type de lacune et à résoudre les problèmes pratiques auxquels font face les aménagistes forestiers. À cette fin, le MRNFP utilise des réseaux de placettes-échantillons provinciaux pour identifier les types forestiers qui réagissent le mieux aux traitements et pour vérifier les hypothèses de rendement. Cette approche permet de valider des modèles de simulation stratégiques qui prédisent l'évolution du volume marchand pour de vastes ensembles forestiers.

Le MRNFP s'appuie également sur des dispositifs expérimentaux établis localement afin d'ajuster les critères d'application des traitements ou tester de nouveaux systèmes sylvicoles. Cette seconde approche repose sur une prise de mesures plus variées et détaillées qui rendent possible l'étalonnage de modèles de simulation tactiques. La mise au point de tels modèles, d'une application plus souple, fait présentement l'objet d'un important programme de recherche au MRNFP.

Mots clés : domaines bioclimatiques, perturbations naturelles, traitements sylvicoles, production forestière, modèles de simulation

Abstract

Current silvicultural knowledge of the boreal forest comes mainly from experiments carried out in even-aged forests .For example, few silvicultural tools exist that are adapted to uneven-aged stands, such as overmature black spruce cover types.

Silvicultural research at the Direction de la recherche forestière (Forest Research Branch) of the Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP)[3] *aims at filling these gaps and solving the practical problems being faced by forest managers. With this objective, the MRNFP is using networks of provincial sample plots to identify the forest types that react best to treatments, and to verify growth and yield hypotheses. This approach allows for the validation of strategic simulation models to predict the evolution in merchantable volume of vast forest complexes.*

The MRNFP is also relying on locally established experiments in order to adjust the criteria for applying treatments or to test new silvicultural systems. The latter approach is based on taking more varied and detailed measurements that make it possible to calibrate tactical simulation models. The development of these models, more flexible in their application, is the current objective of a large MRNFP research program.

Keywords : Bioclimatic domains, natural disturbances, silvicultural treatments, stand yield, forest modelling

---

[1] Direction de la recherche forestière
[2] Direction des services informatiques
[3] Depuis le 29 avril 2003, le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) est désigné sous la nouvelle appellation de ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP).

Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8 Canada

Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : recherche.forestiere@mrnfp.gouv.qc.ca

Hormis le résumé, ce texte est la version intégrale du mémoire présenté par les auteurs au XII^{e} Congrès forestier mondial de septembre 2003 à Québec, Canada.

Les versions française et anglaise du mémoire original sont aussi disponibles en format PDF à l'adresse suivante :

Original text in english is also available in PDF form on web site :

http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/alias/cfm2003.html

Portrait de la forêt boréale québécoise

La forêt boréale québécoise fait partie d'un vaste ensemble floristique qui ceinture le pôle arctique et traverse les continents américain, européen et asiatique (figure 1). La végétation de cette zone circumpolaire se distingue des forêts plus méridionales par un faible nombre d'espèces arborescentes. Ces espèces appartiennent surtout à la classe des conifères (HARE et RITCHIE 1972, HAMET-AHTI 1981), dont la dominance semble être principalement régie par des caractéristiques climatiques (PASTOR et MLADENOFF 1992, SIROIS 1992).

Au Québec, la forêt boréale couvre une large bande comprise entre les 48e et 58e degrés de latitude nord (Figure 2). Sa limite sud est bordée par des forêts composées d'un mélange de conifères et de feuillus, appelées forêts mélangées, dont le peuplement typique est la sapinière à bouleau jaune. Au nord, la forêt boréale disparaît là où les conditions climatiques deviennent si rigoureuses que les espèces arborescentes ne peuvent atteindre une hauteur supérieure à 5 m, ce qui correspond à la limite nordique des arbres (PAYETTE 1983).

Puisque la forêt boréale québécoise couvre un vaste territoire (1 090 700 km^2 ou 71 % du Québec, GRONDIN 1996), le climat n'y est pas homogène. Cet éventail de conditions climatiques est responsable d'une grande diversité de peuplements. Ainsi, ce territoire peut être décomposé en quatre domaines bioclimatiques (GRONDIN 1996, SAUCIER *et al.* 1998), qui s'échelonnent le long d'un gradient croissant de température selon l'axe nord – sud. Ces quatre domaines sont, du nord au sud, la toundra forestière, la pessière noire à lichens, la pessière noire à mousses et la sapinière à bouleau blanc (Figure 2). La toundra forestière est composée de peuplements discontinus d'épinette noire dont la structure généralement très ouverte semble liée aux difficultés de régénération qui font suite aux incendies forestiers récurrents (PAYETTE 1992). Plus au sud, dans la pessière noire à lichens, ou taïga, l'établissement de la régénération d'épinette noire et de pin gris s'effectue plus rapidement à la suite de feux, ce qui permet la formation d'une forêt plus continue, quoique composée de peuplements relativement ouverts.

Les deux domaines bioclimatiques les plus méridionaux de la forêt boréale, la pessière noire à mousses et la sapinière à bouleau blanc, ont une grande importance socio-économique parce qu'ils sont le lieu d'une récolte intensive de matière ligneuse, surtout destinée aux usines de sciage et de pâtes et papiers. Les travaux de recherche en sylviculture et en rendement de la forêt boréale québécoise sont donc concentrés dans ces deux domaines, qui couvrent 557 380 km^2, soit 37 % du Québec ou 51 % de la forêt boréale québécoise (GRONDIN 1996). En plus du gradient latitudinal de température, des changements physiographiques sont à l'origine de la présence d'un second gradient, de précipitations cette fois, qui exerce surtout son influence selon un axe est – ouest. Ce gradient longitudinal de précipitations explique la présence d'un climat continental dans la partie ouest des deux domaines. Ce climat est caractérisé par des précipitations modérées qui favorisent l'incidence d'incendies forestiers, mais limitent la régénération en sapin. À l'est des deux domaines, cependant, le sapin profite d'un climat plus maritime, caractérisé par des précipitations plus abondantes et un allongement du cycle des feux. Cette faible récurrence des feux favorise la présence de peuplements surannés, qui sont susceptibles d'être touchés par d'autres types de perturbations naturelles, comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) et le chablis. La structure et la composition des peuplements s'en trouvent affectés, ce qui contribue à diversifier la forêt boréale et permet une sylviculture plus créative.

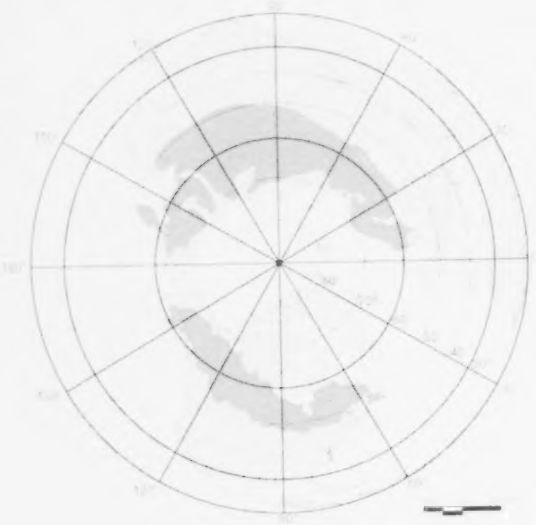

Figure 1. Zone de la forêt boréale à l'échelle mondiale. Sources : PAYETTE (1992) et SIROIS (1992)

Figure 2. Domaines bioclimatiques de la forêt boréale québécoise. Sources : GRONDIN (1996) et SAUCIER *et al.* (1998)

La sylviculture en forêt boréale

En posant l'hypothèse que la forêt boréale est bien adaptée aux perturbations naturelles qui l'affectent périodiquement depuis des millénaires, il semble légitime de se baser sur les effets de ces perturbations pour aménager les peuplements forestiers de façon à préserver l'intégrité des écosystèmes en présence (BERGERON *et al.* 1999). À l'échelle du peuplement, on tente de respecter ce principe en appliquant des interventions sylvicoles qui peuvent s'apparenter aux perturbations naturelles. Par exemple, une coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) dans un peuplement de pin gris peut provoquer des conditions presque semblables à celles d'un incendie forestier, puisqu'il n'y a généralement que peu de régénération sous ce type de couvert. Par ailleurs, une CPRS appliquée dans une sapinière peut davantage simuler les effets d'une épidémie sévère de tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) plutôt que ceux d'un feu parce que la CPRS préserve une bonne partie de la régénération préétablie, alors que le feu peut détruire à la fois cette régénération et la matière organique accumulée sur le sol.

Les éclaircies précommerciale et commerciale ont aussi des points communs avec les perturbations naturelles. En effet, une épidémie légère ou modérée de TBE ne provoque généralement la mort que de la partie la moins vigoureuse des arbres d'un peuplement (POTHIER 1998). Par conséquent, la mortalité causée par une telle épidémie se rapproche étroitement du prélèvement d'arbres occasionné par une éclaircie par le bas, qui laisse sur pied la plupart des arbres dominants et codominants.

Par ailleurs, la sylviculture usuelle de la forêt boréale provient surtout d'expériences menées en forêt régulière et est donc bien adaptée aux perturbations à grande échelle. Cependant, lorsque la faible récurrence des feux observée dans l'est de la forêt boréale est jumelée à la longévité de l'épinette noire, il en résulte des peuplements irréguliers formés d'arbres de tous âges et de toutes dimensions. Un système sylvicole basé sur des coupes partielles et qui n'a pas de CPRS comme finalité semble plus approprié pour aménager ce type de forêt (WEETMAN et ALGAR 1976). La recherche sylvicole dans ce type de peuplement en est à ses premiers balbutiements. Cependant, elle est vouée à prendre un essor considérable au cours des prochaines années.

La recherche sylvicole en forêt boréale

La recherche sylvicole à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP) est résolument axée vers les problèmes pratiques auxquels les aménagistes forestiers doivent faire face. De plus, le MRNFP a le devoir de quantifier les effets des traitements sylvicoles couramment appliqués, ce qui conduit à la réalisation de travaux de recherche souvent suivis à long terme. La variété des traitements sylvicoles appliqués et les particularités régionales des conditions d'application font en sorte que les travaux de recherche sylvicole du MRNFP se différencient selon l'échelle d'établissement des dispositifs expérimentaux. À l'échelle provinciale, des réseaux de placettes-échantillons permanentes sont établis pour les principaux traitements sylvicoles de façon à couvrir l'ensemble des types forestiers sur lesquels ils sont appliqués. En forêt boréale, les traitements couverts par ces réseaux de placettes sont la CPRS, l'éclaircie précommerciale et l'éclaircie commerciale. Les placettes sont établies dans des peuplements traités de façon opérationnelle et sont toujours jumelées à des placettes témoins. Ces réseaux de placettes ont surtout pour but de déterminer les types forestiers les plus aptes à réagir positivement au traitement et à vérifier les hypothèses de rendement en vigueur. Ils devraient donc servir à orienter l'application des principaux traitements sylvicoles et à valider les modèles de prédiction stratégiques, c'est-à-dire les modèles de simulation utilisés pour déterminer l'évolution du volume marchand de grands ensembles forestiers.

Toutefois, les réseaux de placettes provinciaux ne peuvent être utilisés pour ajuster les critères d'application des traitements sylvicoles ou pour tester la pertinence de nouvelles approches. C'est pourquoi le MRNFP établit aussi des dispositifs expérimentaux, à l'échelle locale, à l'intérieur desquels il est possible de contrôler les conditions d'application et d'isoler les facteurs d'intérêt. Dans ces dispositifs, on peut couvrir davantage de traitements sylvicoles que dans les réseaux de placettes provinciaux et, pour chacun d'eux, on peut tester et comparer une gamme étendue de critères d'application. Outre la CPRS, l'éclaircie précommerciale et l'éclaircie commerciale, ces dispositifs comportent des traitements comme la coupe progressive d'ensemencement, la coupe progressive irrégulière, la coupe par bandes ou avec îlots semenciers, le drainage forestier, le scarifiage, etc. Ces dispositifs ont donc pour objectif d'ajuster les critères d'application des traitements sylvicoles à une situation donnée ou de déterminer le meilleur traitement à appliquer dans certains types de peuplement. Les mesures prises dans ces dispositifs sont souvent beaucoup plus variées et détaillées que dans le cas des réseaux provinciaux, ce qui rend possible l'étalonnage de modèles de simulation tactiques, c'est-à-dire des modèles flexibles conçus pour répondre à des besoins spécifiques. Ces modèles viennent donc combler certaines lacunes des modèles stratégiques en simulant des traitements ou des conditions d'application dont les résultats à long terme n'ont jamais été vérifiés.

Les modèles de simulation de la production forestière

Les modèles de simulation de la production forestière s'attardent surtout à prédire l'évolution du volume marchand des peuplements sous aménagement. Ces modèles sont à la base des calculs de possibilité forestière qui, pour un territoire donné, détermine la quantité de bois qu'il est possible de prélever annuellement et ce, de façon perpétuelle. Outre le volume marchand à l'hectare, les modèles de simulation de la production forestière peuvent fournir de l'information sur la distribution du diamètre des arbres, l'évolution de la hauteur dominante du peuplement, le nombre d'arbres de dimensions marchandes, l'évolution de la composition, etc. La variété et la précision de l'information provenant du modèle dépendent non seulement de l'étendue et de la qualité des données qui ont servi à calculer les relations mathématiques de ce modèle, mais aussi du type de modèle.

Pour les calculs relatifs aux peuplements de structure régulière de la forêt boréale, les tables de production de POTHIER et SAVARD (1998) sont présentement utilisées. Elles ont été produites à l'aide d'un modèle empirique à l'échelle du peuplement. Les relations mathématiques de ce modèle sont principalement issues de l'information tirée des placettes-échantillons temporaires établies depuis 1970 par le MRNFP. Parmi ces placettes, seules celles dont l'espèce principale couvrait au moins 75 % de la surface terrière marchande ont été retenues. De plus, les placettes qui répondaient à ces critères étaient largement établies dans des peuplements naturels et non aménagés. En se référant à la définition d'un modèle empirique, le modèle de POTHIER et SAVARD (1998) ne peut être utilisé que pour les peuplements naturels, non éduqués, principalement constitués d'une seule espèce et dont la structure est plutôt régulière et monoétagée. L'évaluation de la performance du modèle s'est d'ailleurs avérée très bonne lorsqu'il a été utilisé pour ce type de peuplement (POTHIER et SAVARD 1998), ce qui représente tout de même une portion appréciable de la forêt boréale.

Cependant, de grandes superficies forestières sont couvertes par des peuplements qui ne correspondent pas à ceux dont la croissance peut être simulée par le modèle de POTHIER et SAVARD (1998). C'est le cas des pessières noires de structure irrégulière, dont l'évolution du volume marchand peut difficilement être prédite par le modèle disponible. Ce type de peuplement couvre de vastes superficies, surtout concentrées dans le nord-est du Québec, là où la faible récurrence des feux a permis à ces pessières de développer une telle structure (DE GRANDPRÉ *et al.* 2000). C'est aussi le cas de nombreux peuplements résineux de la forêt boréale qui ont fait l'objet d'un effort sylvicole grandissant depuis une quinzaine d'années. Pour ces peuplements, il est particulièrement important de prédire la croissance en diamètre des arbres parce que c'est un des principaux paramètres considérés par les usines de transformation. Il faut donc conclure qu'il est nécessaire de mettre au point une approche tactique de modélisation qui sera plus flexible et qui saura pallier aux limites d'application des modèles empiriques.

C'est pourquoi le MRNFP a mis sur pied un programme de recherche destiné à mettre au point des modèles plus flexibles. Ces modèles devront pouvoir simuler plus efficacement diverses situations. Une partie de cette flexibilité pourra provenir de l'adoption de l'échelle de l'arbre pour effectuer les routines de calcul de croissance. La caractérisation des peuplements se fera alors par une liste d'arbres. Toutefois, la quantité de données nécessaire à leur fonctionnement devrait se limiter à ce qui est actuellement récolté dans les placettes-échantillons temporaires. La flexibilité des modèles pourra aussi leur être conférée en introduisant des éléments fonctionnels aux routines de simulation. Cependant, pour simuler la production marchande d'un peuplement, il ne sera pas nécessaire d'avoir recours à un modèle où tous les processus de croissance sont simulés de façon fonctionnelle. De ce fait, le niveau de détails fonctionnels doit être tel que la quantité de données requise pour son utilisation reste pratiquement inchangée. Puisque les situations pour lesquelles le modèle doit être utilisé incluent des conditions de croissance parfois fort différentes entre les arbres d'un même peuplement, un modèle jumelant les caractéristiques de simplicité, d'efficacité et de polyvalence pourrait donc utiliser une approche semi-fonctionnelle (ou hybride) à l'échelle de l'arbre, ce qui implique un jumelage d'éléments empiriques et fonctionnels (LANDSBERG 2001).

Enfin, il faut souligner que si la mise au point de modèles hybrides exige des données particulières, elles ne seront pas nécessaires pour les applications courantes. En effet, les résultats des modèles hybrides tactiques seront intégrés au modèle stratégique de façon à ce que les utilisateurs ne perçoivent pas de changement, que ce soit à l'étape de l'entrée des données de base, de la mécanique de simulation ou de la présentation des résultats. En étendant la portée des modèles de simulation à toute la gamme de situations présentes en forêt boréale, il sera possible d'améliorer la précision des prédictions du volume marchand. Ainsi, des outils fiables seront disponibles pour concilier les demandes des industriels forestiers, qui veulent maintenir les emplois en régions, et celles des autres utilisateurs de la forêt, qui veulent que les générations présentes et futures puissent pleinement profiter de l'ensemble des ressources forestières.

Références

BERGERON, Y., B. HARVEY, A. LEDUC et S. GAUTHIER, 1999. *Stratégies d'aménagement forestier qui s'inspirent de la dynamique des perturbations naturelles : considérations à l'échelle du peuplement et de la forêt.* Forestry Chronicle 75 : 55-61.

DE GRANDPRÉ, L., J. MORISSETTE et S. GAUTHIER, 2000. *Long-term post-fire changes in the northeastern boreal forest of Quebec.* Journal of Vegetation Science 11 : 791-800.

GRONDIN, P., 1996. *Cadre bioclimatique de référence des régions écologiques du Québec. Dans* Manuel de foresterie, Les Presses de l'Université Laval, Québec. p. 148-159.

HAMET-AHTI, L., 1981. *The boreal zone and its biotic subdivision.* Fennia 159 : 69-75.

HARE, F.K. et J.C. RITCHIE, 1972. *The boreal bioclimates.* Geographical Review 62 : 333-365.

LANDSBERG J., 2001. *Modelling forest ecosystems : state-of-the-art, challenges and future directions. In* : Forest modelling for ecosystem management, forest certification, and sustainable management. V. LeMay and P. Marshall (Editors). 12–17 August 2001, University of BC Vancouver. p. 3-21.

PASTOR, J. et D.J. MLADENOFF, 1992. *The southern boreal-northern hardwood forest border. In* : A systems analysis of the global boreal forest. Shugart, H.H., R. Leemans and G.B. Bonan (Editors). Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p. 216-240.

PAYETTE, S., 1983. *The forest tundra and present tree-lines of the northern Quebec-Labrador peninsula.* Nordicana 47 : 3-23.

PAYETTE, S., 1992. *Fire as a controlling process in the North American boreal forest. In* : A systems analysis of the global boreal forest. Shugart, H.H., R. Leemans and G.B. Bonan (Editors). Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p. 144-169.

POTHIER, D., 1998. *Développement de sapinières éclaircies exposées à une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette. Forestry Chronicle* 74 : 91-99.

POTHIER, D. et F. SAVARD, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec.* Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers. RN98-3054. 183 p.

SAUCIER, J.-P., P. GRONDIN, A. ROBITAILLE et J.-F. BERGERON, 1998. *Les zones de végétation et les domaines bioclimatiques du Québec.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, carte 216 x 279 mm.

SIROIS, L., 1992. *The transition between boreal forest and tundra. In* : A systems analysis of the global boreal forest. Shugart, H.H., R. Leemans and G.B. Bonan (Editors). Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p. 196-215.

WEETMAN, G.F. et D. ALGAR, 1976. *Selection cutting in over-mature spruce-fir stands in Québec.* Canadian Journal of Forest Research 6 : 69-77.

2003-3115

ISBN 2-550-41832-8
Dépôt légal 2003
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© 2003 Gouvernement du Québec

Ressources naturelles, Faune et Parcs
Québec

Silviculture and Growth and Yield Research in Québec's Boreal Forest

Research Note
Tabled at the XII World Forestry Congress – Québec, Canada 2003,
by the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec*

September 2003

Direction de la recherche forestière (Forest Research Branch)

Ressources naturelles, Faune et Parcs
Québec

Silviculture and Growth and Yield Research in Québec's Boreal Forest

by

David Pothier[1], Steeve Pepin[1], Daniel Mailly[1], Stéphane Tremblay[2] and Sylvain Turbis[3]

Research Note
Tabled at the XII World Forestry Congress – Québec, Canada 2003,
by the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec*

Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP)
Direction de la recherche forestière
(Forest Research Branch)
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
CANADA

Telephone: (418) 643-7994
Fax: (418) 643-2165

david.pothier@mrnfp.gouv.qc.ca
steeve.pepin@mrnfp.gouv.qc.ca
daniel.mailly@mrnfp.gouv.qc.ca
stephane.tremblay@mrnfp.gouv.qc.ca

Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP)
Direction des services informatiques
(Computer Services Branch)
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
CANADA

Telephone: (418) 643-7994
Fax: (418) 643-2165

sylvain.turbis@mrnfp.gouv.qc.ca

www.forestrycongress.gouv.qc.ca
www.mrnfp.gouv.qc.ca

[1] Forest Engineer, Ph.D.
[2] Forest Engineer, M.Sc.
[3] Computer Analyst

Ressources naturelles, Faune et Parcs
Québec

Abstract

Québec's boreal forest is composed of four bioclimatic domains. The two most southerly, the balsam fir/white birch and black spruce/mosses, are the site of intensive forestry activities and the majority of research into silviculture and growth and yield in the boreal forest. Because Québec's boreal forest ecosystems seem to be well adapted to recurring natural disturbances (fire, epidemics, windthrow), it appears logical to employ a forest management approach that mimics the effects of these disturbances. To achieve this, the usual silvicultural interventions support this principle by creating, at the stand level, disturbance conditions that are sometimes similar to nature. Current silvicultural knowledge of the boreal forest comes mainly from experiments carried out in even-aged forests. Therefore, few silvicultural tools exist that are adapted to uneven-aged stands, such as overmature black spruce cover types.

Silvicultural research at the *Direction de la recherche forestière* (Forest Research Branch) of the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec* (MRNFP)[4] aims at filling these gaps and solving the practical problems being faced by forest managers. With this objective, the MRNFP is using networks of provincial sample plots to identify the forest types that react best to treatments, and to verify growth and yield hypotheses. This approach allows for the validation of strategic simulation models to predict the evolution in merchantable volume of vast forest complexes.

The MRNFP is also relying on locally established experiments in order to adjust the criteria for applying treatments or to test new silvicultural systems. The latter approach is based on taking more varied and detailed measurements that make it possible to calibrate tactical simulation models. The development of these models, more flexible in their application and able to simulate a broad range of situations, is the current objective of a large MRNFP research program.

Keywords: Bioclimatic domains, natural disturbances, silvicultural treatments, stand yield, forest modelling

[4] On April 29, 2003, the *Ministère des Ressources naturelles du Québec* (MRN) became the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec* (MRNFP).

Portrait of Québec's boreal forest

The boreal forest in Québec is part of a vast floristic complex that circles the Arctic pole and crosses the continents of North America, Europe and Asia (**Figure 1**). Vegetation in this circumpolar zone is distinguished from more southerly forests by its low number of tree species. These species belong mainly to the conifer class (Hare and Ritchie 1972; Hämet-Ahti 1981), in which dominance seems to be controlled by climate (Pastor and Mladenoff 1992; Sirois 1992).

In Québec, the boreal forest covers a wide band between 48° and 58° lat. N. (**Figure 2**). Its southern limit is bordered by forests composed of a mixture of softwoods and hardwoods, called mixedwoods, in which the typical stand is the balsam fir/yellow birch type. To the north, the boreal forest disappears where climatic conditions become so severe that tree species cannot reach a height greater than 5 m, which corresponds to the northern tree line (Payette 1983).

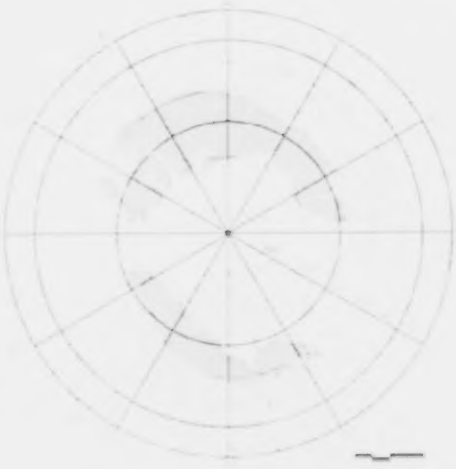

Figure 1. Boreal forest zones at a global scale.
Sources: Payette (1992) and Sirois (1992)

Figure 2. Bioclimatic domains of Québec's boreal forest. Sources: Grondin (1996) and Saucier et al. (1998)
(*Forêt feuillue*: Hardwood forest subzone;
Forêt mélangée: Mixed forest subzone;
Sapinière à bouleau blanc: Balsam fir-white birch domain;
Pessière à mousses: Spruce-moss domain
Pessière à lichens: Spruce-lichen domain;
Toundra forestière: Forest tundra domain;
Tundra arctique: Arctic tundra)

Because Québec's boreal forest covers a vast area (1,090,700 km^2 or 71% of Quebec) (Grondin 1996), the climate is not even. This range of climatic conditions is responsible for a wide diversity of stand types. Therefore the area can be broken down into four

Portrait of Québec's boreal forest

The boreal forest in Québec is part of a vast floristic complex that circles the Arctic pole and crosses the continents of North America, Europe and Asia (**Figure 1**). Vegetation in this circumpolar zone is distinguished from more southerly forests by its low number of tree species. These species belong mainly to the conifer class (Hare and Ritchie 1972; Hämet-Ahti 1981), in which dominance seems to be controlled by climate (Pastor and Mladenoff 1992; Sirois 1992).

In Québec, the boreal forest covers a wide band between 48° and 58° lat. N. (**Figure 2**). Its southern limit is bordered by forests composed of a mixture of softwoods and hardwoods, called mixedwoods, in which the typical stand is the balsam fir/yellow birch type. To the north, the boreal forest disappears where climatic conditions become so severe that tree species cannot reach a height greater than 5 m, which corresponds to the northern tree line (Payette 1983).

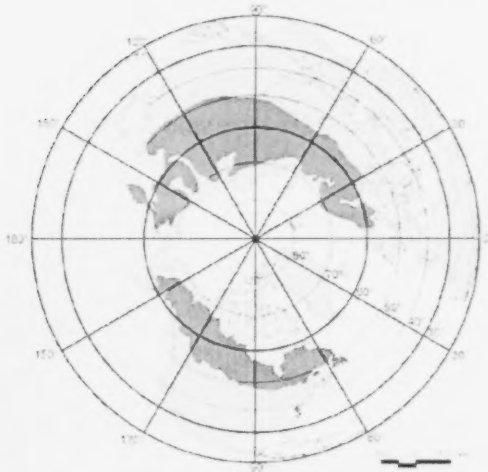

Figure 1. Boreal forest zones at a global scale.
Sources: Payette (1992) and Sirois (1992)

Figure 2. Bioclimatic domains of Québec's boreal forest. Sources: Grondin (1996) and Saucier et al. (1998)
(*Forêt feuillue*: Hardwood forest subzone;
Forêt mélangée: Mixed forest subzone;
***Sapinière à bouleau blanc*: Balsam fir-white birch domain;**
***Pessière à mousses*: Spruce-moss domain**
***Pessière à lichens*: Spruce-lichen domain;**
***Toundra forestière*: Forest tundra domain;**
Tundra arctique: Arctic tundra)

Because Québec's boreal forest covers a vast area (1,090,700 km^2 or 71% of Québec) (Grondin 1996), the climate is not even. This range of climatic conditions is responsible for a wide diversity of stand types. Therefore the area can be broken down into four

bioclimatic domains (Grondin 1996; Saucier et al. 1998), which are spread out along an increasing temperature gradient on a north-south axis. From north to south, these four domains are forest tundra, black spruce/lichens, black spruce/mosses and balsam fir/white birch (**Figure 2**). The forest tundra is composed of discontinuous stands of black spruce, where the generally open structure seems related to regeneration problems following recurrent forest fires (Payette 1992). Further south, in the black spruce/lichens type, or taïga, the establishment of black spruce and jack pine regeneration is achieved more rapidly after fire, which results in the establishment of a more continuous forest, though composed of relatively open stands.

The two most southerly bioclimatic domains in the boreal forest, the black spruce/mosses and balsam fir/white birch types, have high socio-economic importance because they are intensively harvested for timber to supply sawmills and pulp and paper mills. Silviculture and boreal forest growth and yield research in Québec are therefore concentrated in these two domains, which cover 557,380 km^2, or 37% of Québec and 51% of Québec's boreal forest (Grondin 1996). In addition to the latitudinal temperature gradient, physiographic changes are the cause of a second gradient, precipitation, which has an influence especially on an east-west axis. This longitudinal precipitation gradient explains the presence of a continental climate in the western part of these two domains. This climate is characterized by moderate precipitation that favours the occurrence of forest fires, but limits balsam fir regeneration. To the east of these two domains, however, balsam fir benefits from a more maritime climate, characterized by more abundant precipitation and longer fire cycle. The low fire frequency favours the presence of overmature stands, which are susceptible to other types of natural disturbances, such as the spruce budworm and windthrow. The structure and composition of stands are affected by these disturbances, which contributes to diversifying the boreal forest and makes for more creative silviculture.

Silviculture in the boreal forest

Assuming that the boreal forest is well adapted to natural disturbances that have periodically affected it for millennia, it seems correct to base the management of forest stands on the effects of these disturbances, to preserve the integrity of the current ecosystems (Bergeron et al. 1999). We are attempting to support this principle at the stand scale by employing silvicultural interventions that could resemble natural disturbances. For example, harvesting with regeneration and soils protection (HRSP) in jack pine stands can give rise to conditions similar to those following a forest fire, since only a small amount of regeneration generally grows under this cover type. However, HRSP applied in balsam fir stands could simulate the effects of a severe spruce budworm epidemic more than those of a fire, because the HRSP maintains a good part of the advance regeneration, whereas fire can destroy both the regeneration and the organic matter accumulated on the soil.

Precommercial and commercial thinning also have points in common with natural disturbances. Indeed, a light or moderate spruce budworm epidemic generally kills only

the less vigorous trees in a stand (Pothier 1998). Consequently, mortality caused by this type of epidemic closely resembles the removal of trees in a low thinning, which leaves standing most of the dominant and codominant trees.

Furthermore, the usual silviculture practised in the boreal forest results from studies that were carried out in even-aged forests, and is therefore well adapted to large-scale disturbances. However, when the infrequent recurrence of fires observed in the eastern section of the boreal forest is paired with the longevity of black spruce, the result is uneven-aged stands composed of trees of all ages and sizes. A silvicultural system based on partial cutting, and that does not use HRSP as the final cut, seems more appropriate to manage this type of forest (Weetman and Algar 1976). Silvicultural research in this type of stand is in its initial stages. However, it is destined to expand considerably during the coming years.

Silvicultural research in the boreal forest

Silvicultural research at the Forest Research Directorate of the MRNFP is steadfastly directed toward the practical problems faced by forest managers. Also, the MRNFP has the duty to quantify the effects of the silvicultural treatments now used, which often leads to undertaking long-term research. The variety of silvicultural treatments applied and the regional features of application conditions results in the MRNFP's silvicultural research differing according to the scale of established experiments. At the provincial scale, in order to cover all of the forest types where they are employed, permanent sample plot networks have been established for the principal silvicultural treatments. In the boreal forest, the treatments covered by these plot networks are HRSP and precommercial and commercial thinning. Plots are established operationally in treated stands and are always paired with control plots. The particular objective of these plot networks is to determine the forest types which are most apt to react positively to the treatment, and to verify current growth and yield hypotheses. They therefore should be useful in orienting how the principal silvicultural treatments are implemented, and to validate the strategic prediction models—the simulation models used to determine the evolution in merchantable volume of the large forest complexes.

However, the provincial plot network cannot be used to adjust the implementation criteria of the silvicultural treatments, or to test the relevance of new approaches. This is why the MRNFP is also establishing local-scale experiments within which it is possible to control implementation conditions and isolate any interesting elements. In these experiments, more silvicultural treatments can be examined than in the provincial plot networks and, for each of them, a wide range of implementation criteria can be tested and compared. Besides the HRSP, precommercial and commercial thinning, these experiments include treatments such as shelterwood methods, irregular shelterwood, strip clearcutting, group seed-tree cutting, forest drainage, scarification, etc. The objective of these experiments is to adjust silvicultural treatments implementation criteria to a given situation, or to determine the best treatment to use in certain stand types. Measurements in these experiments are often much more varied and detailed

than in the provincial network, which makes calibration of tactical simulation models possible—flexible models designed to meet specific needs. These models fill certain shortcomings of the strategic models by simulating treatments or implementation conditions for which long-term results have never been tested.

Forest growth and yield models

Forest growth and yield models generally aim at predicting the evolution of merchantable volume in managed stands. These models are the basis of allowable cut calculations which, for a given area, determine the volume of timber that can be removed annually on a perpetual basis. Besides merchantable volume per hectare, forest growth and yield models can supply information on the diameter distribution of trees, the evolution of a stand's dominant height, the number of trees of merchantable size, the evolution of stand composition, etc. The variety and precision of the information coming from the model not only depend on the range and quality of the data that were used to calculate the mathematical relationships of the model, but also on the type of model.

For calculations related to boreal forest stands having an even-aged structure, the yield tables of Pothier and Savard (1998) are now used. They were produced using a stand-scale empirical model. The mathematical relationships of this model stem mainly from information extracted from temporary sample plots established since 1970 by the MRNFP. Among these plots, only those where the dominant species covered at least 75% of the merchantable basal area were used. Furthermore, the plots that meet these criteria were mainly established in natural untended stands. By referring to the definition of an empirical model, the model of Pothier and Savard (1998) can only be used for natural unmanaged stands, composed mainly of a single species and with a quite regular single-storied structure. The evaluation of the model's performance proved very good when it was used for this stand type (Pothier and Savard 1998), which represents an appreciable portion of the boreal forest.

However, large forested areas are covered by stands that do not correspond to those types for which growth can be simulated by the Pothier and Savard (1998) model. This is the case for uneven-aged black spruce, where the evolution of merchantable volume can only be predicted with difficulty using the available model. This stand type covers vast areas, especially concentrated in northeastern Québec, where the low fire frequency has allowed these black spruce types to develop this kind of structure (De Grandpré et al. 2000). This is also the case with numerous softwood stands in the boreal forest, which have been the object of an increasing silvicultural effort for about 15 years. For these stands, it is particularly important to predict tree diameter growth, because it is one of the principal parameters required by sawmills. It must therefore be concluded that it is necessary to develop a tactical modelling approach that will be more flexible and that will be able to offset the implementation limits of empirical models.

This is why the MRNFP has set up a research program intended to develop more

flexible models. These models should be able to more efficiently simulate various situations. Part of the flexibility could come from carrying out growth calculation routines at the tree scale. The characterization of stands will therefore be done using a tree list. However, the volume of data needed for them to function should be limited to what is currently gathered in the temporary sample plots. The models' flexibility could also be provided by introducing functional elements to the simulation routines. However, to simulate a stand's merchantable yield, it will not be necessary to use a model where all the growth processes are functionally simulated. This means that the level of functional details must be such that the quantity of data required to use it remains practically unchanged. Since the situations for which the model must be used include growth conditions that are sometimes very different between trees in the same stand, a model that combines the characteristics of simplicity, efficiency and versatility could use a semi-functional approach (or hybrid) at the tree scale, which means pairing empirical and functional elements (Landsberg 2001).

Finally, it must be emphasized that if the development of hybrid models requires particular data, they will not be necessary for everyday applications. Indeed, the results of tactical hybrid models will be integrated into the strategic model so that users will not notice any changes, either at the stage of data entry, the mechanics of simulation or in the presentation of results. By broadening the range of simulation models to a complete range of situations present in the boreal forest, it will be possible to improve the forecasting precision for merchantable volume. Reliable tools will thus be available to support the demands of the forest industry, which wants to maintain employment in the regions, and those of the other forest stakeholders, who want present and future generations to fully benefit from all of our forest resources.

References

Bergeron, Y., B. Harvey, A. Leduc and S. Gauthier. 1999. Stratégies d'aménagement forestier qui s'inspirent de la dynamique des perturbations naturelles : considérations à l'échelle du peuplement et de la forêt. Forestry Chronicle. 75:55–61.

De Grandpré, L., J. Morissette and S. Gauthier. 2000. Long-term post-fire changes in the northeastern boreal forest of Quebec. Journal of Vegetation Science. 11:791–800.

Grondin, P. 1996. Cadre bioclimatique de référence des régions écologiques du Québec. *In* Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec. p. 148–159.

Hämet-Ahti, L. 1981. The boreal zone and its biotic subdivision. Fennia. 159:69–75.

Hare, F.K. and J.C. Ritchie. 1972. The boreal bioclimates. Geographical Review. 62:333–365.

Landsberg J. 2001. Modelling forest ecosystems: State-of-the-art, challenges and future directions. *In* Forest modelling for ecosystem management, forest certification, and sustainable management. V. LeMay and P. Marshall, eds. 12–17 August 2001,

University of BC, Vancouver. p. 3–21.

Pastor, J. and D.J. Mladenoff. 1992. The southern boreal-northern hardwood forest border. *In* A systems analysis of the global boreal forest. Shugart, H.H., R. Leemans and G.B. Bonan, eds. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p. 216–240.

Payette, S. 1983. The forest tundra and present tree-lines of the northern Quebec-Labrador penninsula. Nordicana. 47:3–23.

Payette, S. 1992. Fire as a controlling process in the North American boreal forest. *In* A systems analysis of the global boreal forest. Shugart, H.H., R. Leemans and G.B. Bonan, eds. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p. 144–169.

Pothier, D. 1998. Développement de sapinières éclaircies exposées à une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette. Forestry Chronicle. 74:91–99.

Pothier, D. and F. Savard. 1998. Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers. RN98-3054. 183 p.

Saucier, J.-P., P. Grondin, A. Robitaille and J.-F. Bergeron. 1998. Les zones de végétation et les domaines bioclimatiques du Québec. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles. carte 216 x 279 mm.

Sirois, L. 1992. The transition between boreal forest and tundra. *In* A systems analysis of the global boreal forest. Shugart, H.H., R. Leemans and G.B. Bonan, eds. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p. 196–215.

Weetman, G.F. and D. Algar. 1976. Selection cutting in over-mature spruce-fir stands in Québec. Canadian Journal of Forest Research. 6:69–77.